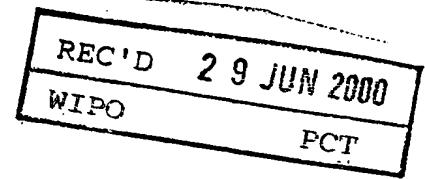


ESU



**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung
einer Patentanmeldung**

Aktenzeichen: 199 11 182.0

Anmeldetag: 12. März 1999

Anmelder/Inhaber: Profile Optische Systeme GmbH, Karlsfeld/DE
Erstanmelder: Technische Universität Dresden,
Dresden/DE

Bezeichnung: Allfaser-Transmissionsbauelement zur Erzeugung
chromatischer Dispersion

IPC: G 02 B und H 04 B

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Anmeldung.



München, den 9. Juni 2000
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag

Seiler

Seiler





Zusammenfassung

Allfaser-Transmissionsbauelement zur Erzeugung chromatischer Dispersion

In einem Allfaser-Transmissionsbauelement zur Erzeugung chromatischer Dispersion werden zwei Paare von Faser-Bragg-Gittern angeordnet, wobei die Gitter eines Paares unterschiedliche Gitterkonstanten und entgegengesetzte Chirp aufweisen. Im zu nutzenden Wellenlängenbereich passiert der eingangsseitig eingespeiste Grundmodus das erste Gitter unbeeinflusst, im zweiten Gitter wird er in einen Zwischenmodus kontradirektional-modengekoppelt, der im ersten Gitter kontradirektional wieder in Vorwärtsrichtung in einen dritten Modus modengekoppelt wird, welcher das zweite Gitter unbeeinflusst passiert und somit ausgangsseitig, infolge des Chirps der Gitter dispersionsbeaufschlagt, das Gitterpaar verläßt. Durch ein analog aufgebautes Gitterpaar wird der dritte Modus zurück in den Grundmodus gekoppelt.

Fig. 1

BEST AVAILABLE COPY

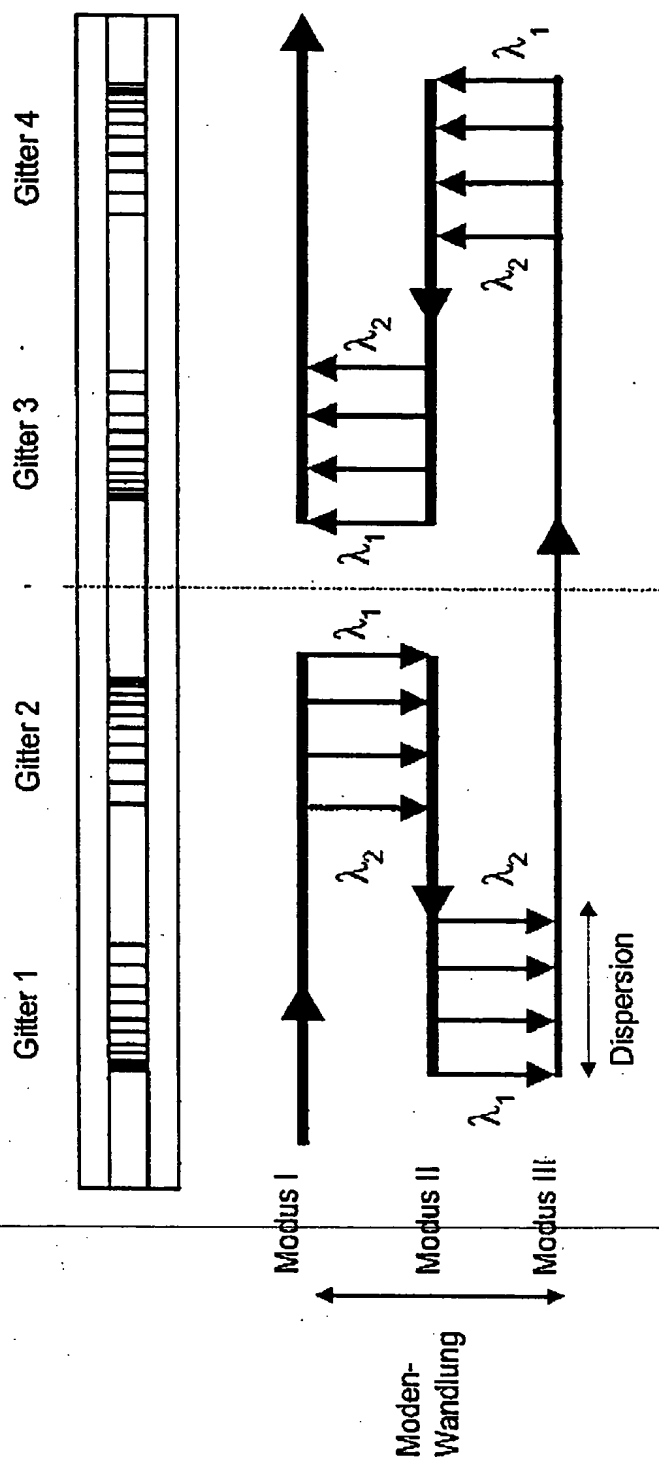


Fig. 1

BEST AVAILABLE COPY

Allfaser-Transmissionsbauelement zur Erzeugung chromatischer Dispersion

Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Allfaserelement mit gechirpten Faser-Bragg-Gittern zur Erzeugung chromatischer Dispersion entsprechend dem Oberbegriff des Anspruchs 1.

Dispersionskompensation, d. h. Erzeugung normaler Dispersion (mit negativem Dispersionsparameter D), ist z. B. notwendig, um im Wellenlängenbereich des Erbium-Faserverstärkers um $\lambda = 1550$ nm die anomale Dispersion mit $D \approx 17$ ps pro nm Bandbreite und km Faserlänge von Standardfasern aufzuheben.

Bekannt hierfür sind neben Kompensationsfasern gechirpte Faser-Bragg-Gitter nach DE 35 24 527 A1. Gechirpt heißt, daß der Reflexionsort im Faser-Bragg-Gitter wellenlängenabhängig ist, so daß wellenlängenabhängige Laufwege und damit Laufzeiten (die gewünschte Dispersion) entstehen. Nach DE 35 24 527 A1 wird das dispersionsbeaufschlagte reflektierte Signal durch einen 3 dB-Faserkoppler abgezweigt, in der Regel aber durch einen Zirkulator. Der zusätzliche Faserkoppler hat den gravierenden Nachteil von 6 dB Leistungsverlust optisch, entsprechend 12 dB elektrisch. Der Zirkulator wiederum ist ein teureres Zusatzelement.

Bekannt sind auch Untersuchungen, z. B. von N.M. Litchinitser et al: „Fiber Bragg gratings for dispersion compensation in transmission“ in J. Lightwave Technol. 15 (1997) S. 1303, um die an den Bandgrenzen der Faser-Bragg-Gitter in Transmission auftretenden Dispersionseffekte auszunutzen, das Faser-Bragg-Gitter also als Zweitor zu verwenden. Dabei sind jedoch gegenüber der Reflexion an gechirpten Gittern nur bescheidene Ergebnisse zu erwarten.

Bekannt ist auch, daß Faser-Bragg-Gitter, die (als die klassische Anwendung) bei einer Wellenlänge die Fasergrundwelle reflektieren, bei anderen Wellenlängen in andere Moden reflektieren. Das wird als kontradirektionale Modenkopplung bezeichnet, es liegt bei entsprechender Dimensionierung eine reflektierende Modenwandlung vor. Kontradirektionale Modenkopplung in Mantelmoden wird in EP 0 826 990 A1 zur Erzielung von Dämpfungseffekten vorgeschlagen und in EP 0 829 740 A3 in geführte Moden, z.B. in den LP_{11} -Modus, zur Realisierung von Dämpfungselementen mit unterschiedlichen Frequenzcharakteristiken.



BEST AVAILABLE COPY



2

Bekannt sind ferner sogenannte langperiodische Fasergitter, die kodirektionale Modenkopplung, Modenwandlung in Transmissionsrichtung, bewirken. Kodirektionale Kopplung in Mantelmoden wird in US 5 430 817 und in geführte Moden in US 5 818 987 jeweils zur Erzielung von Filtereffekten vorgeschlagen.

In dem Vortrag „Dispersion compensation using only fiber Bragg gratings“ von P. Petruzzi et al zur Optical Fiber Conference (OFC) 1999, Vortrag FA5, S. 14^(b. 46) (des Konferenzbandes), wird gezeigt, daß durch drei Gitter, von denen mindestens eines gechirpt ist, statt des reflektierenden Dispersionseintores ein transmittierendes Dispersionszweitor realisiert werden kann und so der Zirkulator vermieden werden kann. Hiernach koppelt das zweite Gitter die eingespeiste LP_{01} -Welle unter kontradirektionaler Modenwandlung in einen ersten Mantelmodus zurück zum ersten Gitter, wo eine kontradirektionale Modenwandlung (nun wieder in Vorwärtsrichtung) in einen zweiten Mantelmodus erfolgt, der im dritten Gitter kodirektional (es muß sich also um ein langperiodisches Gitter handeln) in die LP_{01} -Grundwelle gekoppelt wird. Es wird offensichtlich eine Standard-Singlemodefaser verwendet.

Ein erster zumindest für die vorliegende experimentelle Ausführung auch angeführten Mangel ist die geringe Koppeffizienz zu den Mantelmoden sowie insbesondere auch die zwischen den Mantelmoden, ein zweiter Mangel ist überhaupt die Benutzung der zwei Mantelmoden, da diese durch Umgebungseffekte und insbesondere auch Faserkrümmungen viel stärker beeinflusst werden als geführte Moden, ein dritter Mangel ist die Benutzung eines langperiodischen Gitters, dessen Filtercharakteristik nicht so gut beherrschbar ist wie die von Bragg-Gittern und die wesentlich höhere Baulängen erfordern.

Aufgabe der Erfindung ist es, ein analog wirkendes Bauelement aufzubauen, bei dem alle oder ein Teil der aufgeführten Mängel vermieden werden.

Erfindungsgemäß wird die Aufgabe in Verbindung mit den im Oberbegriff des Anspruchs 1 genannten Merkmalen dadurch gelöst, daß Spezialfasern verwendet werden, in denen nicht nur der LP_{01} -Grundmodus, sondern einige Moden geführt werden und deren Dotierungsprofil sowohl zu einer hohen Koppeffizienz der durch die Faser-Bragg-Gitter zu koppelnden Moden als auch zu einer großen, möglichst äquidistanten Spreizung der Phasenkoeffizienten der zu koppelnden Moden und eventueller Störmoden führt und daß zwei Paare von Faser-Bragg-Gittern mit den

BEST AVAILABLE COPY

Gittern 1 und 2 bzw. 3 und 4 verwendet werden, wobei die Gitter eines Paares unterschiedliche Gitterkonstanten und entgegengesetzten Chirp aufweisen und wobei im zu nutzenden Wellenlängenbereich die eingangsseitig eingespeiste LP_{01} -Grundwelle erst im zweiten Gitter in einen Zwischenmodus kontradirektional modengekoppelt wird, welcher im ersten Gitter kontradirektional, also wieder in Vorwärtsrichtung, in einen dritten Modus modengekoppelt wird, welcher erst im vierten Gitter kontradirektional wieder in einen Zwischenmodus modengekoppelt wird, welcher im dritten Gitter kontradirektional, also wieder in Vorwärtsrichtung, in die LP_{01} -Grundwelle modengekoppelt wird, welche nach Passage des vierten Gitters, infolge des Chirps der Gitter dispersionsbeaufschlagt, ausgangsseitig austritt.

Es werden also Spezialfaser mit zwei Paaren von Faser-Bragg-Gittern benutzt und in jedem Paar erfolgt eine zweimalige unbeeinflusste Transmission der Signalwelle durch Faser-Bragg-Gitter und eine zweimalige Richtungsumkehr durch zweimalige kontradirektionale Modenkopplung. Dafür müssen drei unterschiedliche Moden benutzt werden. Im ersten Gitterpaar erfolgt die Kopplung vom LP_{01} -Grundmodus über einen Zwischenmodus in einen dritten Modus, im zweiten vom dritten Modus über z. B. den gleichen Zwischenmodus zurück in die LP_{01} -Grundwelle. Dimensionierungshinweise werden im Ausführungsbeispiel gegeben.

Vorteilhaft werden in dem mehrmodigen Glasfaser-Lichtwellenleiter die rotationssymmetrischen Moden LP_{01} , LP_{02} und LP_{03} benutzt. Es können auch nichtrotationssymmetrische Moden, wie der LP_{11} -Modus benutzt werden. Dann sind die Faser-Bragg-Gitter geringfügig schräg zur Faserachse zu erzeugen. Neben zwei geführten Moden kann auch ein Mantelmodus benutzt werden. Gegenüber dem im zitierten Vortrag von P. Petruzzi et al gemachten Vorschlag wird immerhin die Modenkopplung zwischen Mantelmoden vermieden.

Große Bandbreite des Bauelements erfordert eine große und möglichst äquidistante Spreizung der Phasenkoeffizienten der zu koppelnden Moden und eventueller Störmoden. Diese liegt beim parabolischen LWL vor. In dessen Kern nimmt das Quadrat der Brechzahl quadratisch über dem Radius ab.

Die Koppeleffektivität unterschiedlicher Moden in Faser-Bragg-Gittern kann verbessert werden, wenn neben radialen Bereichen mit der üblichen GeO_2 -Dotierung auch Bereiche mit F- und/oder B_2O_3 -Dotierung benutzt werden.

BEST AVAILABLE COPY

Die Erfindung wird nachfolgend durch ein Ausführungsbeispiel an Hand der einzigen Fig. 1 näher erläutert.

Fig. 1 zeigt eine Faser mit Kern und Mantel mit vier im Kern erzeugten Faser-Bragg-Gittern. Gitter 1 und 2 bilden das erste, Gitter 3 und 4 das zweite Paar. Die Faser-Bragg-Gitter eines Paares weisen unterschiedliche Gitterkonstanten auf und sind mit einem Chirp dargestellt, der in einem Paar jeweils entgegengesetzt ist. Ferner ist der Modendurchlauf durch das erfindungsgemäße Bauelement dargestellt.

Kontradirektionale Modenkopplung erfolgt, wenn zwischen den Phasenkoeffizienten β_1 und β_2 der zu koppelnden Moden und der Gitterperiodenlänge Λ die Beziehung

$$\Lambda = 2\pi / (\beta_1 + \beta_2)$$

gilt. In Fig. 1 passiert die einlaufende LP_{01} -Grundwelle als Modus I das Gitter 1 unbeeinflusst, da

$$\Lambda_1 \neq 2\pi / (\beta_I + \beta_I) \quad \text{i beliebig}$$

gilt. Sie wird wegen

$$\Lambda_2 = 2\pi / (\beta_I + \beta_{II})$$

am Gitter 2 als Modus II reflektiert, der am Gitter 1 wegen

$$\Lambda_1 = 2\pi / (\beta_{II} + \beta_{III})$$

als Modus III wieder in Vorwärtsrichtung reflektiert wird und das Gitter 2 wegen

$$\Lambda_2 \neq 2\pi / (\beta_{III} + \beta_I) \quad \text{i beliebig}$$

unbeeinflusst passiert. Im zweiten Gitterpaar von Fig. 1 mit $\Lambda_4 = \Lambda_1$ und $\Lambda_3 = \Lambda_2$ wiederholen sich die beschriebenen Passagen und Modenkopplungen in umgekehrter Reihenfolge und Richtung. Vom Modus III wird in Gitter 4 kontradirektional in den Zwischenmodus II und von diesem in Gitter 3 kontradirektional (wieder in Vorwärtsrichtung) in die LP_{01} -Grundwelle gekoppelt. Erfolgt ein entgegengesetzter Chirp der Gitter wie in Fig. 1 angedeutet, so erkennt man, daß in allen Gittern für die niedrigste Wellenlänge λ_1 der weiteste, für die höchste Wellenlänge λ_2 der kürzeste Weg zurückzulegen ist. Es addiert sich die Wirkung aller Gitter, die Gesamtlänge entspricht etwa der eines konventionellen, reflektierenden Dispersionskompensationsgitters. Da die Weglänge etwa proportional der Gruppenlaufzeit t_g ist, wird $dt_g/d\lambda < 0$. Das bedeutet, es wird eine normale Dispersion erzeugt.

BEST AVAILABLE COPY

Patentansprüche

1. Allfaser-Transmissionsbauelement zur Erzeugung chromatischer Dispersion, bestehend aus einem Glasfaser-Lichtwellenleiter mit in ihm erzeugten kontradirektional modenkoppelnden Faser-Bragg-Gittern, von denen alle oder ein Teil gechirpt sind, **dadurch gekennzeichnet**, daß Spezialfasern verwendet werden, in denen nicht nur der LP_{01} -Grundmodus, sondern einige Moden geführt werden und deren Dotierungsprofil sowohl zu einer hohen Koppeffizienz der durch die Faser-Bragg-Gitter zu koppelnden Moden als auch zu einer großen, möglichst äquidistanten Spreizung der Phasenkoeffizienten der zu koppelnden Moden und eventueller Störmoden führt und daß zwei Paare von Faser-Bragg-Gittern mit den Gittern 1 und 2 bzw. 3 und 4 verwendet werden, wobei die Gitter eines Paares unterschiedliche Gitterkonstanten und entgegengesetzten Chirp aufweisen und wobei im zu nutzenden Wellenlängenbereich die eingangsseitig eingespeiste LP_{01} -Grundwelle erst im zweiten Gitter in einen Zwischenmodus kontradirektional modengekoppelt wird, welcher im ersten Gitter kontradirektional, also wieder in Vorwärtsrichtung, in einen dritten Modus modengekoppelt wird, welcher erst im vierten Gitter kontradirektional wieder in einen Zwischenmodus modengekoppelt wird, welcher im dritten Gitter kontradirektional, also wieder in Vorwärtsrichtung, in die LP_{01} -Grundwelle modengekoppelt wird, welche nach Passage des vierten Gitters, infolge des Chirps der Gitter dispersionsbeaufschlagt, ausgangsseitig austritt.
2. Allfaser-Transmissionsbauelement nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß zur Erzielung einer etwa äquidistanten und großen Spreizung der Phasenkonstanten im Kern ein etwa parabolisches Brechzahlprofil und eine relativ große relative Brechzahldifferenz Δ realisiert werden.
3. Allfaser-Transmissionsbauelement nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, daß zur Erzielung einer hohen Koppeffizienz nicht nur GeO_2 -Dotierung, sondern auch F- und/oder B_2O_3 -Dotierung erfolgt.
4. Allfaser-Transmissionsbauelement nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, daß die speziell dimensionierten Fasern näherungsweise den gleichen Modenfeldradius wie die anzuschließenden Standardfasern haben.

BEST AVAILABLE COPY

5. Allfaser-Transmissionsbauelement nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß die geführten rotationssymmetrischen Moden LP_{01} , LP_{02} und LP_{03} benutzt werden.
6. Allfaser-Transmissionsbauelement nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß auch nichtrotationssymmetrische geführte Moden, namentlich der LP_{11} -Modus, benutzt werden, wobei die Bragg-Gitter in der Faser nicht senkrecht, sondern etwas schräg zur Faserachse erzeugt werden.
7. Allfaser-Transmissionsbauelement nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß neben zwei geführten Moden auch ein Mantelmodus benutzt wird.
8. Allfaser-Transmissionsbauelement nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß zur Dispersionskompensation 1. Ordnung die Gitter linear gechirpt sind oder zur Dispersionskompensation auch höherer Ordnung eines oder auch mehrere der Gitter abweichend von der Linearität gechirpt sind.
9. Allfaser-Transmissionselement mit erhöhter chromatischer Dispersion, dadurch gekennzeichnet, daß mehrere der Elemente nach einem der Ansprüche 1 bis 8 einfach in Kette geschaltet werden.

Hierzu 1 Blatt Zeichnungen

BEST AVAILABLE COPY

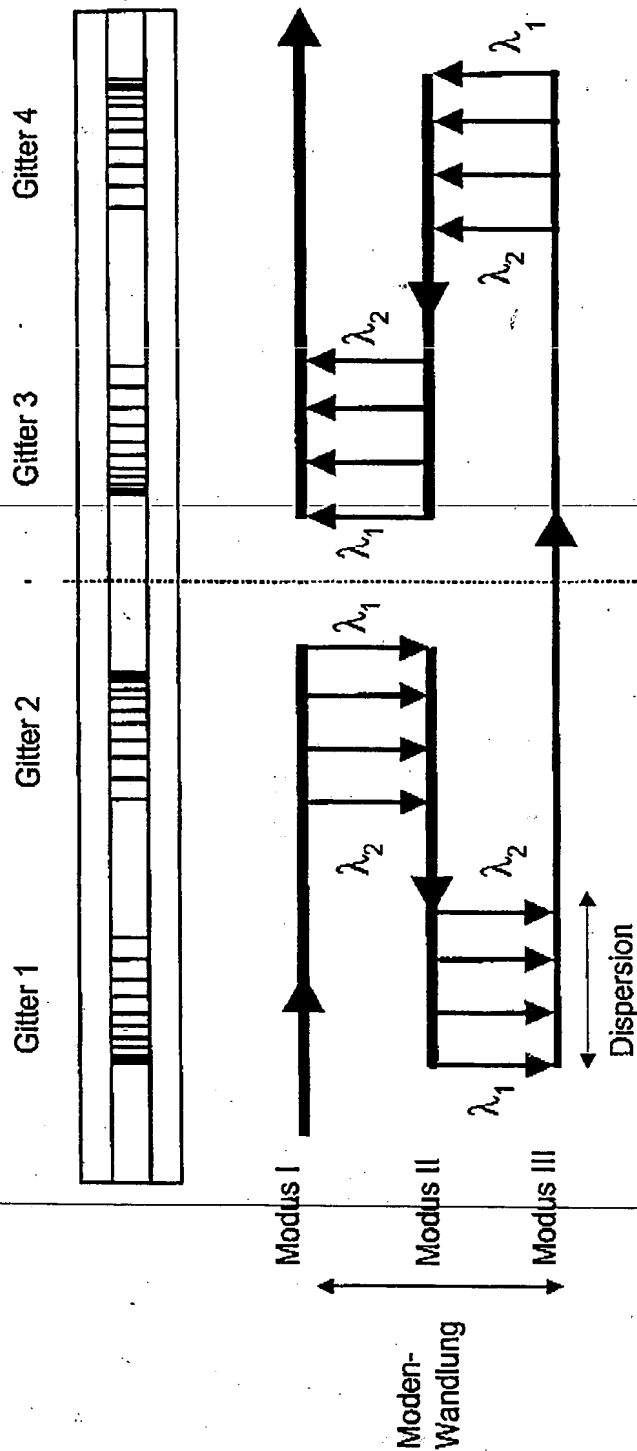


Fig. 1

BEST AVAILABLE COPY